

# Des ports flottants pour réduire les pressions sur les rives lacustres

Morgane Ugo, Jamani Caillet, Anton Schleiss

## Résumé

Les places d'amarrage des bateaux manquent cruellement sur le lac Léman et d'autres lacs en Suisse. Dans les années 90 est née l'idée de construire sur le lac Léman des ports flottants ancrés au large pour accueillir la petite batellerie. Malheureusement, aucune étude détaillée de faisabilité n'a été réalisée à ce jour. Ce concept prometteur, qui peut réduire les pressions sur les rives lacustres, a été étudié dans le cadre de plusieurs travaux de Master à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) depuis 2012. Les études démontrent que le concept innovateur est techniquement et économiquement réalisable et pourrait contribuer à une protection et une gestion durable des rives lacustres des lacs suisses.

## Mots-clés

Rives lacustres, lacs, port flottant, navigation de plaisance

## Verringerung des Siedlungsdruckes auf die Seeufer dank schwimmenden Hafenanlagen

## Zusammenfassung

Auf dem Genfersee sowie anderen Schweizer Seen gibt es einen grossen Mangel an Bootsplätzen. In den neunziger Jahren wurde die Idee eines schwimmenden vom Ufer losgelösten Hafens geboren, welche aber damals nicht weiter verfolgt wurde. Seit 2012 wurde dieses erfolversprechende Konzept, welches den Siedlungsdruck auf die Seeufer verringern kann, in mehreren Masterarbeiten an der ETH Lausanne untersucht. Die Studien zeigten, dass das innovative Konzept technisch und wirtschaftlich realisierbar ist und einen Beitrag zum Schutz und zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Seeufer in der Schweiz leisten könnte.

## Keywords

Seeufer, Seen, schwimmende Häfen, Freizeitschiffahrt

## Porti galleggianti per ridurre la pressione sulle sponde

## Riassunto

Esiste una grande mancanza di banchini d'approdo sul lago di Ginevra e anche su altri laghi della Svizzera. Negli anni '90 è nata l'idea di costruire sul lago Lemano dei portili galleggianti ancorate al largo per accogliere le piccole imbarcazioni. Purtroppo, nessuno studio di fattibilità dettagliato è stato realizzato fino ad oggi. Questo concetto promettente, che può ridurre la pressione sulle rive del lago, è stato studiato in diversi lavori Master al Politecnico federale di Losanna (EPFL) nel 2012. Gli studi mostrano che il concetto innovativo è tecnicamente ed economicamente fattibile e può contribuire alla protezione e gestione sostenibile delle sponde dei laghi svizzeri.

## Parole chiave

Sponde, laghi, molo galleggiante, piccole imbarcazioni

## L'idée d'un port flottant

Sur l'Arc lémanique, la navigation de plaisance est en pleine expansion depuis une vingtaine d'années. La très forte demande de places d'amarrage ne fait que corroborer ce propos et l'offre reste bien au-dessous des espérances. L'extension des ports existants arrive à terme et la création de nouveaux ports est délicate compte tenu du manque d'emplacements propices. La solution alternative à ce problème est la création de ports flottants au large des rives qui préserveraient

l'environnement côtier et les structures existantes.

Le projet est une structure flottante de forme dodécaédrique d'environ 120 mètres de diamètre située au large des rives et pouvant accueillir une centaine de bateaux (Figure 1 et 2). Elle comprend quatre éléments principaux assurant chacun une fonction précise et indispensable:

- La partie flottante est composée de l'anneau extérieur, formé par une succession de caissons, et du noyau (centré ou excentré). Elle sert pour l'amarrage des bateaux, la circulation des personnes et assure la flottabilité du système.
- L'écran de protection immergé d'une hauteur de 12 mètres a pour but de réduire au maximum la transmission de la houle à l'intérieur du port.
- Le système de raidisseurs rayonnants assure que l'ensemble reste monolithique.
- Le système d'amarrage permet de garder le port dans une certaine position et de reprendre les efforts horizontaux dus à la houle et au vent.

Ce concept innovant a été étudié dans le cadre de plusieurs travaux de Master à l'EPFL sous la direction du Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) et en collaboration avec le Laboratoire de constructions métalliques (ICOM).

Les dimensions du port flottant ont été reprises des esquisses du projet «Nénuphar» mené par BG Ingénieurs Conseils en 1991. Le diamètre extérieur du port est donc fixé à 118 mètres. Une telle dimension permet au port de fournir 92 places d'amarrages. En moyenne, six bateaux de 12 mètres de long et de 3.5 mètres de large peuvent être amarrés à chacun des caissons de la structure extérieure. L'intérieur du port est aménagé avec un ponton central flottant, sur lequel les bateaux peuvent également être amarrés.

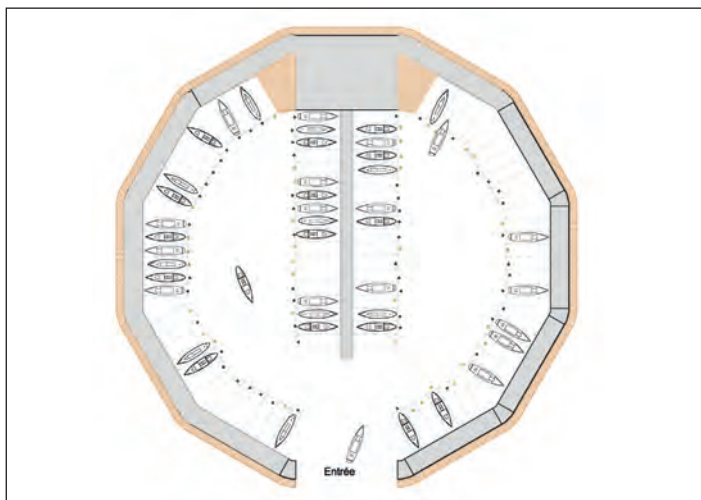


Figure 1: Schéma de la forme du port flottant étudié par Jamani Cailliet.  
Abbildung 1: Schematische Darstellung der Form des schwimmenden Hafens von Jamani Cailliet.

### Vérification du concept par modélisation physique

Les essais ont été menés sur un modèle réduit à l'échelle 1:50. La maquette a été exploitée en similitude de Froude respectant ainsi les caractéristiques des écoulements à surface libre. Les essais ont été réalisés dans un bassin à houle au LCH dont les dimensions sont 10 mètres de long, 6 mètres de large et 1,3 mètre de profond (Figure 3). Un générateur pneumatique de vagues a été utilisé pour produire des vagues unidirectionnelles et monochromatiques. La crête des vagues générées par le système est toujours parallèle à la largeur du bassin. La maquette du port flottant a été construite en utilisant des plaques en PVC

pour les caissons flottants, l'écran de protection et le noyau (Figure 4). Une grille métallique a été utilisée pour rigidifier et assembler les caissons au noyau sous la forme de quatre raidisseurs centraux. Les lignes d'amarrage du port ont été reproduites sur le modèle par des chaînes en acier clair.

Pour simuler fidèlement le mouvement dynamique du port flottant, toutes les dimensions et la répartition des masses du modèle doivent avoir le même rapport que celles du prototype. Le centre de gravité et le métacentre de la maquette sont par conséquent en similitude avec ceux du prototype.

Des sondes à ultrasons ont été utilisées pour les mesures: sept sondes sont répar-

ties dans le bassin afin de pouvoir analyser la propagation de la houle et huit sondes (dont deux sont redondantes) visent les plaques «cibles» positionnées sur le modèle afin de déterminer les mouvements subis par la structure (Figure 4). Plusieurs scénarios ont été étudiés pour déterminer le comportement de la structure, dont les principaux paramètres sont le type de vague générée, le poids de la structure et son orientation par rapport au front de vague. Six différentes vagues, allant jusqu'à la houle avec une hauteur significative de 1.5 mètre ont été reproduites. Des tests ont été menés sur la configuration à vide et la configuration lestée placées chacune dans les trois orientations différentes étudiées.

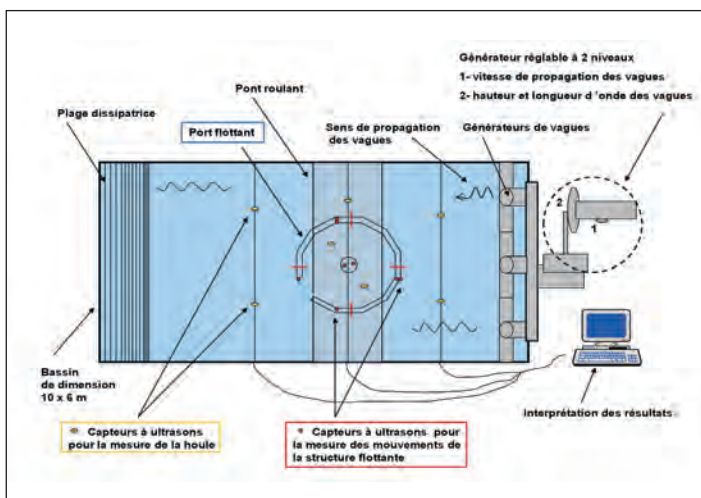


Figure 3: Schéma du bassin à houle et de ses installations annexes pour l'acquisition des mesures (Morgane Ugo).  
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Wellenbeckens und seiner Nebenanlagen zur Datenerfassung (Morgane Ugo).



Figure 2: Photomontage d'un port flottant sur le Léman (Jamani Cailliet).  
Abbildung 2: Fotomontage eines schwimmenden Hafens am Genfersee (Jamani Cailliet).



Figure 4: Maquette du port flottant à l'échelle 1:50. Les plaques «cibles» ont été fixées verticalement pour mesurer précisément les mouvements dus aux vagues (Morgane Ugo).  
Abbildung 4: Modell des schwimmenden Hafens im Massstab 1:50. Die «Ziel»-Platten wurden vertikal befestigt, um die Wellenbewegungen genau bestimmen zu können (Morgane Ugo).



En analogie avec le comportement d'un bateau, les six mouvements de translations et de rotations du corps flottant ont été analysés, à savoir:

- Le roulis et le cavalement sur l'axe longitudinal (x): mouvement avant-arrière
- Le tangage et l'embarquée sur l'axe transversal (y): mouvement tribord-bâbord
- Le lacet et le pilonnement sur l'axe vertical (z)

Ces essais sur modèle réduit ont permis de vérifier le concept. La propagation de la houle à travers le bassin ainsi que les mouvements de la structure ont été mis en évidence.

### Conception et dimensionnement du port flottant

Afin de garantir des conditions calmes dans l'enceinte du port, un brise-lame pour atténuer les vagues est nécessaire. Le principal paramètre est la profondeur de l'écran, qui est déterminée selon la transmission des vagues de l'extérieur à l'intérieur du port. Pour les ports de plaisance, la littérature mentionne des amplitudes limites des vagues de 40 centimètres pour les valeurs maximales annuelles, et 70 centimètres pour les valeurs extrêmes (périodes de retour de vagues comprises entre 50 et 100 ans).

Les essais effectués sur la maquette du port ont donné une première valeur de l'atténuation fournie par un écran rigide placé sous les caissons. Dans la modélisation, l'écran est profond de 12 mètres et donne une amplitude résiduelle moyenne de 36 %. Pour une vague de dimensionnement de 2.3 m, le brise-lame doit atteindre une profondeur de 17 mètres pour respecter les amplitudes résiduelles tolérées des vagues dans l'enceinte. En tenant compte de la profondeur du caisson immergée, d'environ 3 mètres en exploitation régulière, la hauteur du brise-lame doit être de 14 mètres. Les caissons en béton armé offrent une grande rigidité ainsi qu'une immersion importante grâce aux caractéristiques du béton armé. La structure la plus efficace pour atténuer les vagues est un écran en bois fixé à l'aide d'une structure métallique aux caissons. L'écran est construit à l'aide de palplanches en bois,

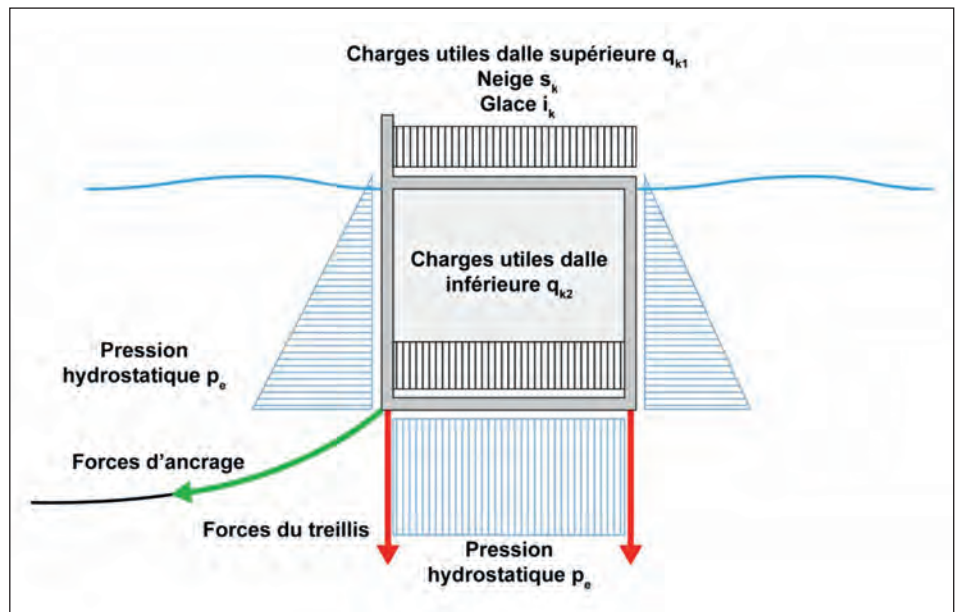


Figure 5: Charges agissant sur les caissons.

Abbildung 5: Lastenwirkungen auf die Schwimmkästen.

composées de demi-troncs d'arbre. Cette solution apporte une légèreté à la structure, réduit son coût et amène une touche écologique au projet.

Les différentes parties structurales de l'ouvrage ont été dimensionnées sur la base des résultats des études hydrostatiques et hydrodynamiques sur modèle réduit. Les éléments dimensionnés sont les caissons en béton, le treillis du brise-lame et son écran, ainsi que les connexions et assemblages entre ces divers éléments.

Les éléments de béton constituant les caissons sont dimensionnés pour qu'ils résistent à des charges transversales et longitudinales. Les charges agissant sur la structure en béton sont le poids propre du béton, les charges utiles, les charges de neige et de glace, la pression hydrostatique, les forces d'introduction du brise-lame et les forces d'ancrage (Figure 5). Pour reprendre ces charges, le béton des caissons nécessite une armature et une précontrainte conséquente.

Le treillis du brise-lame est composé de tubes de profil ROR, en acier S355, avec une épaisseur de 10 mm. Le diamètre des tubes est adapté en fonction des efforts. Le treillis tridimensionnel permet de porter dans toutes les directions, et ne nécessite donc pas de contreventements supplémentaires.

Le port est également soumis aux poussées du vent et des courants. Le vent agit sur les parois verticales des caissons et peut être combiné à des courants lacustres de même direction. La stabilité du port face à ces forces horizontales est assurée par l'amarrage du port à des blocs en béton placés au fond du lac.

Les caissons du port flottant peuvent être préfabriqués dans la cale sèche des chantiers navals. Les caissons en béton sont successivement coulés, stockés, puis acheminés vers le site de construction. L'assemblage du treillis métallique peut être réalisé à proximité du site final du port flottant, en prévoyant une surface suffisamment grande pour pouvoir manœuvrer les caissons et fixer les éléments de charpente au-dessous. Un système de deux barges jumelées supportant un pont roulant peut être utilisé, afin de permettre l'assemblage du treillis sur le caisson à l'air libre.

### Conclusions

Pour un coût de construction estimé entre 4 et 5 millions de CHF pour environ 92 places d'amarrage, le port flottant est sans doute une alternative économiquement intéressante. L'extension des ports existants augmente la pression sur les rives lacustres, la création de ports flottants au large des rives pourrait donc être une alternative qui préserverait les



Figure 6: Intégration paysagère d'un port flottant au large de Pully près de Lausanne (Photomontage Jamani Caillet).

Abbildung 6: Landschaftsintegration eines schwimmenden Hafens auf dem Genfersee bei Pully in der Nähe von Lausanne (Fotomontage Jamani Caillet).



Figure 7: Intégration paysagère d'un port flottant au large de Cully près de Lausanne; vue direction Lavaux (Photomontage Jamani Caillet).

Abbildung 7: Landschaftsintegration eines schwimmenden Hafens auf dem Genfersee bei Cully in der Nähe von Lausanne (Fotomontage Jamani Caillet).



Figure 8: Intégration paysagère d'un port flottant au large de Cully près de Lausanne; vue du Lavaux (Photomontage Jamani Caillet).

Abbildung 8: Landschaftsintegration eines schwimmenden Hafens auf dem Genfersee bei Cully in der Nähe von Lausanne (Fotomontage Jamani Caillet).



Figure 9: Intégration paysagère d'un port flottant au large d' Ouchy à Lausanne (Photomontage Jamani Caillet).

Abbildung 9: Landschaftsintegration eines schwimmenden Hafens auf dem Genfersee bei Ouchy in der Nähe von Lausanne (Fotomontage Jamani Caillet).

rives restées encore intactes. Il pourrait également être envisageable de supprimer quelques ports qui ont, par exemple, des problèmes d'ensablement et de revitaliser des rives pour ainsi créer des biotopes précieux. De plus, l'intégration paysagère d'un tel port flottant est prometteuse comme le montre le cas d'étude sur le lac Léman (Figures 6, 7, 8 et 9).

## Bibliographie

Morgane Ugo (2012). Etude d'un port flottant sur Le Léman. Projet de master, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

Morgane Ugo (2012). Vidéo des essais sur modèle physique: <https://www.youtube.com/watch?v=L3AX5lysNAE>.

Jamani Caillet (2013). Conception d'un port flottant sur le lac Léman. Projet de

master, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

Jamani Caillet (2013) Vidéo du projet avec les intégrations dans le lac:

<http://youtu.be/7Y9-vU1G50U>

## Adresse des auteurs

Morgane Ugo  
Laboratoire de constructions  
hydrauliques (LCH)  
Ecole polytechnique fédérale  
de Lausanne (EPFL)  
Station 18, LCH - IIC - ENAC - EPFL  
CH-1015 Lausanne  
Tel. +41 21 693 23 85  
E-Mail: [morgane.ugo@gmail.com](mailto:morgane.ugo@gmail.com)

Jamani Caillet  
Ecole polytechnique fédérale  
de Lausanne (EPFL)  
CM 2 362, Station 10, P-SG-Mediacom  
CH-1015 Lausanne  
Tel. +41 21 693 31 93  
E-Mail: [jamani.caillet@epfl.ch](mailto:jamani.caillet@epfl.ch)

Prof. Dr. Anton Schleiss  
Auteur correspondant  
Laboratoire de constructions  
hydrauliques (LCH)  
Ecole polytechnique fédérale  
de Lausanne (EPFL)  
Station 18, LCH - IIC - ENAC - EPFL  
CH -1015 Lausanne  
Tel. +41 21 693 23 82  
E-Mail: [anton.schleiss@epfl.ch](mailto:anton.schleiss@epfl.ch)